

Tối ưu hóa điều kiện sấy phun và đánh giá ảnh hưởng của bao bì bảo quản đến chất lượng bột chanh dây tím (*Passiflora edulis*)

Trương Thị Chiên¹, Trần Bảo Trâm¹, Đỗ Thị Kim Trang¹, Nguyễn Thị Thanh Mai², Vũ Xuân Tạo^{1*}

¹Viện Phát triển Công nghệ tiên tiến, Viện Đổi mới Sáng tạo Quốc gia, nhà C6, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Tăng trưởng xanh và Phát triển bền vững, Viện Đổi mới Sáng tạo Quốc gia, nhà C6, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 13/5/2026; ngày chuyển phản biện 14/5/2026; ngày nhận phản biện 30/5/2026; ngày chấp nhận đăng 8/6/2026

Tóm tắt:

Chanh dây (*Passiflora edulis*) là một loại trái cây được trồng phổ biến ở Việt Nam. Do có tính mùa vụ, dễ bị hư hỏng nên chanh dây thường được bảo quản dưới dạng đông lạnh, sấy phun, sấy đông khô... Trong nghiên cứu này, phương pháp sấy phun được sử dụng để tạo bột chanh dây bằng hệ chất mang maltodextrin - gum arabic (4:1). 17 thí nghiệm đã được tiến hành để đánh giá ảnh hưởng của nồng độ chất mang (8, 10, 12% w/v), nhiệt độ không khí đầu vào (150, 160, 170°C) và tốc độ bơm nhập liệu (10, 15, 20 vòng/phút). Ảnh hưởng của các yếu tố trên được đánh giá bằng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) Box-Behnken để thu được bột chanh dây có hiệu suất thu hồi cao, hàm lượng polyphenol tổng số cao và độ ẩm thấp. Kết quả thực nghiệm tối ưu ở nồng độ chất mang 10%, nhiệt độ không khí đầu vào 150°C và tốc độ bơm nhập liệu 12 vòng/phút cho hiệu suất thu hồi 80,8%, độ ẩm 3,11% và polyphenol tổng số đạt 166,5 mg GAE/100 g chất khô. Bột chanh dây được bảo quản bằng túi ghép màng nhôm 3 lớp (PET/Al/PA) ở điều kiện nhiệt độ phòng giúp duy trì độ ẩm, hàm lượng polyphenol tổng số tốt nhất so với các bao bì PA, PE sau 6 tháng bảo quản.

Từ khóa: bảo quản, chanh dây tím, maltodextrin-gum arabic, phương pháp bề mặt đáp ứng, sấy phun.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.10, 4.1

Optimisation of spray-drying conditions and evaluation of packaging effects on the quality of purple passion fruit (*Passiflora edulis*) powder

Thi Chien Truong¹, Bao Tram Tran¹, Thi Kim Trang Do¹, Thi Thanh Mai Nguyen², Xuan Tao Vu^{1*}

¹Institute for Advanced Technology Development, National Academy for Advanced Technology and Innovation, C6 Building, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

²Institute for Green Growth and Sustainable Development, National Academy for Advanced Technology and Innovation, C6 Building, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

Received 13 May 2026; revised 30 May 2026; accepted 8 June 2026

Abstract:

Passion fruit (*Passiflora edulis*) is widely cultivated in Vietnam. Due to its seasonal nature and high perishability, passion fruit can be preserved in various forms such as freezing, spray drying, and freeze drying. In this study, spray drying was employed to produce passion fruit powder using a carrier system of maltodextrin and gum arabic (4:1). Seventeen experiments were conducted to evaluate the effects of carrier concentration (8, 10, and 12% w/v), inlet air temperature (150, 160, and 170°C), and feed pump rate (10, 15, and 20 rpm). The effects of these factors were evaluated using the Box-Behnken response surface methodology (RSM) to obtain passion fruit powder with high recovery yield, high total phenolic content, and low moisture content. The optimal conditions were determined as 10% carrier concentration, an inlet air temperature of 150°C, and a feed pump rate of 12 rpm, yielding a powder recovery of 80.8%, moisture content of 3.11%, and total polyphenol content of 166.5 mg GAE/100 g dry weight. The passion fruit powder packaged in laminated aluminum foil pouches (PET/Al/PA) and stored at room temperature showed better moisture control and total polyphenol content compared to PA and PE packaging after six months of storage.

Keywords: maltodextrin-gum arabic, *Passiflora edulis*, response surface methodology (RSM), spray drying, storage.

Classification numbers: 2.4, 2.10, 4.1

*Tác giả liên hệ: Email: taovx.tsa@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Chanh dây tím (*Passiflora edulis*) là loại trái cây được trồng nhiều ở vùng nhiệt đới, có giá trị dinh dưỡng cao, giàu vitamin, khoáng chất và các hợp chất chống oxy hóa có lợi cho sức khỏe. Trong đó, polyphenol là nhóm hoạt chất quan trọng, có hoạt tính chống oxy hóa, kháng vi sinh vật [1]. Tuy nhiên, do có hàm lượng nước, đường cao nên dịch chanh dây tươi dễ hỏng, hạn chế thời gian sử dụng và giảm khả năng thương mại của sản phẩm [2]. Vì vậy, việc chuyển đổi dạng dịch quả sang dạng bột được xem là giải pháp hiệu quả nhằm kéo dài thời gian bảo quản, giảm chi phí vận chuyển và đa dạng hóa sản phẩm từ chanh dây. Trong đó, sấy phun là công nghệ được ứng dụng phổ biến trong ngành thực phẩm để tạo ra bột từ các dung dịch, dịch chiết hoặc nhũ tương, giúp bảo quản và vận chuyển dễ dàng hơn. Phương pháp sấy phun có ưu điểm là thời gian sấy ngắn, hiệu suất thu hồi cao và giữ được hương vị, màu sắc cũng như các hoạt chất có hoạt tính sinh học. Đồng thời, sản phẩm bột tạo ra có kích thước hạt đồng đều và khả năng hòa tan tốt [3]. Tuy nhiên, việc sấy phun dịch quả thường gặp khó khăn do hàm lượng các loại đường cao, nhiệt độ chuyển thủy tinh thấp. Thành phần đường trong nước quả chủ yếu gồm fructose (45%), glucose (46%) và sucrose (9%) với nhiệt độ chuyển thủy tinh lần lượt là 5°C, 31°C và 62°C. Trong sấy phun, nhiệt độ chuyển thủy tinh là một trong những thông số quan trọng nhất quyết định khả năng tạo bột của nguyên liệu. Khi nhiệt độ buồng sấy vượt quá nhiệt độ chuyển thủy tinh, nguyên liệu sẽ chuyển sang trạng thái mềm dẻo, làm tăng tính dính của bề mặt dẫn đến hiện tượng bám dính vào thành thiết bị và làm giảm hiệu suất thu hồi sản phẩm [4]. Hơn nữa, dịch chanh dây có hàm lượng axit hữu cơ cao (khoảng 4,55%) tạo sự bám dính vào thành thiết bị gây khó khăn cho quá trình sấy [5]. Để khắc phục hiện tượng này, quá trình sấy phun thường bổ sung các chất mang như maltodextrin, gum arabic, tinh bột ngô... nhằm làm tăng nhiệt độ chuyển thủy tinh để cải thiện hiệu quả sấy, giảm độ dính và nâng cao chất lượng sản phẩm [6].

Quá trình sấy phun dịch quả chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố công nghệ và các yếu tố này có mối tương tác với nhau trong việc quyết định chất lượng sản phẩm. Phương pháp sấy phun đã được chứng minh có nhiều ưu điểm trong tạo bột từ dịch quả [7, 8]. Việc tối ưu các thông số trong quá trình sấy phun như nhiệt độ không khí đầu vào, nồng độ chất mang và tốc độ bơm nhập liệu

vẫn giữ vai trò then chốt trong việc nâng cao hiệu suất thu hồi cũng như cải thiện các đặc tính vật lý và hóa học của sản phẩm. Một số nghiên cứu về tạo bột chanh dây bằng phương pháp sấy phun và sấy đông khô cũng đã được đề cập [9, 10], tuy nhiên các nghiên cứu chuyên sâu về tối ưu hóa các thông số trong quá trình sấy phun dịch chanh dây vẫn còn hạn chế. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm tối ưu các thông số sấy phun dịch chanh dây tím bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm với kỹ thuật bề mặt đáp ứng (Response Surface Methodology - RSM) nhằm nâng cao chất lượng và tiềm năng thương mại của bột chanh dây.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Quả chanh dây tím được trồng tại Lâm Đồng, chọn quả chín có vỏ màu tím đồng đều, không bị hư hỏng, hàm lượng chất khô hòa tan tổng số đạt 16°Bx, pH 2,8, khối lượng 10-12 quả/kg. Maltodextrin (Roquette, Pháp), dạng bột mịn, màu trắng, không mùi, tan hoàn toàn trong nước, chỉ số DE 10-12; gum Arabic (Alland & Robert, Pháp), dạng bột mịn, màu vàng nhạt, không mùi, tan hoàn toàn trong nước, pH 4,5-5,5. Các enzyme gồm: pectinase SPL, cellulast 1.5l, pectinex clear có dạng lỏng, màu nâu (Novozymes, Đan Mạch).

2.2. Thiết bị sấy

Quá trình sấy được thực hiện trên máy sấy phun Kodi Drying, model LPG - Spray Dryer (Trung Quốc), năng suất sấy 1-7 kg nước bốc hơi/giờ, tốc độ quay tối đa đĩa phun sương 31.000 vòng/phút, nhiệt độ tối đa của tác nhân sấy đầu vào là 350°C.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Chuẩn bị dịch chanh dây sấy phun: Quả chanh dây được làm sạch, sau đó tách lấy ruột quả và điều chỉnh pH 4 bằng NaHCO₃ 3%. Tiếp theo, dịch chanh dây được thủy phân bằng hỗn hợp enzyme (0,02% pectinex SPL + 0,05% cellulast + 0,05% pectinex clear), xử lý ở 40°C trong 90 phút, thu dịch lọc, loại bỏ hạt. Thí nghiệm được tiến hành trên máy sấy phun Kodi Drying (Trung Quốc). Thiết bị sấy phun được đặt ở chế độ nhiệt độ không khí đầu vào và tốc độ bơm nhập liệu mong muốn. Áp suất khí nén được duy trì ở 5 bar, với tốc độ quay tối đa đĩa phun sương 31.000 vòng/phút, bơm nhập liệu là bơm nhu động. Nước cất được sử dụng để chạy ổn định máy

cho đến khi nhiệt độ đầu ra đạt 80°C, sau đó được thay thế bằng dung dịch nguyên liệu chanh dây. Sau khi sấy, bột được làm nguội ở nhiệt độ 5-10°C để tránh hút ẩm và thực hiện đóng gói sản phẩm.

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp RSM sử dụng phần mềm Design Expert 11. Kế hoạch thực nghiệm đa yếu tố quá trình sấy phun dịch chanh dây được tiến hành theo quy hoạch thực nghiệm của Box-Behnken với 3 biến độc lập, trong đó miền tối ưu của các yếu tố khảo sát đã được xác định thông qua các thí nghiệm thăm dò. Maltodextrin (DE 10-12) và gum arabic được sử dụng làm chất mang theo tỷ lệ 4:1 ở ba nồng độ khác nhau X_1 (8-12%), nhiệt độ không khí đầu vào X_2 (150-170°C) và tốc độ bơm nhập liệu X_3 (10-20 vòng/phút) (bảng 1). Ma trận quy hoạch thực nghiệm gồm 17 đơn vị thí nghiệm. Các thí nghiệm được lựa chọn nhằm xác định mức độ ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến hàm mục tiêu gồm hiệu suất thu hồi (Y_1); độ ẩm (Y_2) và hàm lượng polyphenol tổng số (Y_3), từ đó xây dựng các phương trình hồi quy bậc 2 có dạng:

$$Y_n = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{i=1}^k a_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^k a_{ij} X_i X_j$$

trong đó: Y_n là hàm mục tiêu, X_i và X_j là các yếu tố khảo sát, a_0 là hằng số hay hệ số hồi quy bậc 0, a_i và a_{ii} lần lượt là các hệ số hồi quy bậc một và bậc hai mô tả ảnh hưởng của yếu tố X_i với Y_n , a_{ij} là hệ số hồi quy tương tác mô tả ảnh hưởng đồng thời X_i và X_j với Y_n [11].

Bảng 1. Bảng mã hóa giá trị biến theo thiết kế Box-Behnken.

Yếu tố khảo sát	Mức mã hóa của biến		
	-1	0	+1
Nồng độ chất mang X_1 (%)	8	10	12
Nhiệt độ không khí đầu vào X_2 (°C)	150	160	170
Tốc độ bơm nhập liệu X_3 (vòng/phút)	10	15	20

Ảnh hưởng của bao bì đến chất lượng bột chanh dây sấy phun theo thời gian bảo quản: Bột chanh dây sấy phun được sấy theo điều kiện tối ưu của thí nghiệm sau đó được đóng gói trong ba loại bao bì bao gồm: PE (túi ghép đơn lớp), PA (túi ghép 2 lớp PA/PE) và PET/Al/PA (túi ghép màng nhôm 3 lớp) để theo dõi sự thay đổi chất lượng bột chanh dây trong quá trình bảo quản. Mẫu bột chanh dây được đóng trong các túi tương ứng với khối lượng 200 g/gói/mẫu, hút chân không và bảo quản ở nhiệt độ phòng (20-25°C) trong các khoảng thời gian 0, 2, 4 và 6 tháng. Đánh giá các chỉ tiêu độ ẩm và hàm lượng polyphenol tổng số sau thời gian bảo quản.

Phương pháp xác định một số chỉ tiêu phân tích:

Hiệu suất thu hồi sản phẩm: tính bằng phần trăm lượng chất khô trong sản phẩm so với lượng chất khô trong dịch nhập liệu (bao gồm cả dịch chanh dây tách hạt và chất mang). Một quy trình sấy phun đạt hiệu quả khi hiệu suất thu hồi đạt trên 50% [12].

Độ ẩm: Sấy mẫu ở 105°C và cân cho tới khi đạt khối lượng không đổi.

Hàm lượng polyphenol tổng số được xác định theo phương pháp Folin-ciocalteu dựa trên TCVN 9745-1:2013. Mẫu thử được chuẩn bị bằng cách cân chính xác 1,0 g bột chanh dây, hòa tan trong 25 ml nước nóng ($\leq 60^\circ\text{C}$), để nguội đến nhiệt độ phòng, bổ sung 5 ml acetonitrile và định mức đến 50 ml bằng nước cất. Sau khi đồng nhất, hút 1,0 ml dịch mẫu cho phản ứng với 5,0 ml thuốc thử Folin-ciocalteu, trộn đều và để yên trong 5 phút ở nhiệt độ phòng. Tiếp theo, bổ sung 4,0 ml dung dịch Na_2CO_3 7,5% (w/v), trộn đều và ủ trong tối trong 60 phút. Độ hấp thụ quang của hỗn hợp phản ứng được đo tại bước sóng 765 nm bằng máy quang phổ UV-Vis. Axit gallic ở dải nồng độ 0-50 $\mu\text{g/ml}$ được sử dụng để xây dựng đường chuẩn ($y=0,0172x+0,0026$; $R^2=0,9995$). Kết quả được biểu thị dưới dạng miligram đương lượng axit gallic trên 100 g chất khô (mg GAE/100 g CK).

2.4. Xử lý số liệu

Sử dụng phương pháp thống kê trên phần mềm Excel 2016 và GraphPad Prism 8. Dữ liệu được phân tích bằng phương pháp ANOVA và thực hiện kiểm định Tukey để xác định sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với $p<0,05$. Kết quả xử lý số liệu thực nghiệm đa yếu tố và tối ưu hóa bằng phần mềm Design - Expert 11.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả thực nghiệm đa yếu tố

Nghiên cứu tiến hành thực nghiệm 17 thí nghiệm được thiết kế dựa trên phương pháp RSM sử dụng phần mềm Expert Design 11 với 3 biến độc lập, gồm: nồng độ chất mang, nhiệt độ không khí đầu vào và tốc độ bơm nhập liệu. Kết quả thực nghiệm đa yếu tố được tổng hợp ở bảng 2.

Dựa vào ma trận quy hoạch thực nghiệm và số liệu hàm mục tiêu, nghiên cứu tiến hành xử lý số liệu bằng

Bảng 2. Tổng hợp kết quả thực nghiệm đa yếu tố.

TT	X ₁ - Nồng độ chất mang (%)	X ₂ - Nhiệt độ không khí đầu vào (°C)	X ₃ - Tốc độ bơm nhập liệu (vòng/phút)	Y ₁ - Hiệu suất thu hồi (%)	Y ₂ - Độ ẩm (%)	Y ₃ - Hàm lượng polyphenol tổng số (mg GAE/100 g CK)
1	8	150	15	76,9	5,05	176,0
2	10	160	15	70,7	3,15	168,2
3	8	160	10	61,6	4,35	177,3
4	10	160	15	70,5	3,09	168,0
5	10	170	10	55,4	2,82	153,5
6	8	160	20	47,1	4,94	169,1
7	10	160	15	69,6	3,05	168,1
8	10	170	20	46,3	3,18	155,2
9	12	160	20	54,1	3,06	165,0
10	10	160	15	71,2	3,08	168,2
11	12	170	15	69,3	2,23	150,3
12	10	160	15	71,5	3,13	168,2
13	10	150	10	77,1	3,11	166,8
14	12	150	15	81,4	2,93	157,7
15	12	160	10	71,4	2,02	154,9
16	10	150	20	53,8	4,34	166,7
17	8	170	15	58,2	4,35	158,5

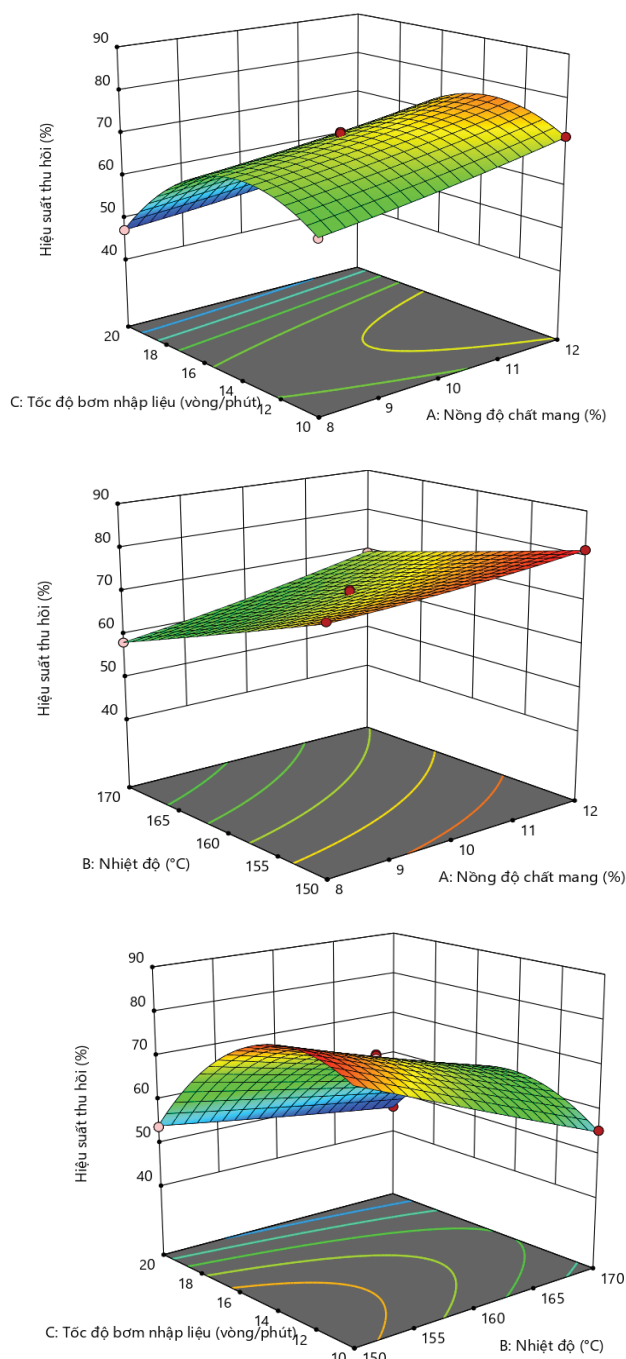
phần mềm Design - Expert 11, phân tích ANOVA kiểm tra sự có nghĩa của các hệ số hồi quy và sự tương ứng 3 hàm mục tiêu (Y₁, Y₂, Y₃) được tổng hợp ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích hồi quy các hàm mục tiêu.

Nguồn gốc	Hàm Y1		Hàm Y2		Hàm Y3	
	Chuẩn F	Giá trị p	Chuẩn F	Giá trị p	Chuẩn F	Giá trị p
Mô hình	533,75	<0,0001	1362,95	<0,0001	17059,38	<0,0001
A-Nồng độ chất mang (%)	342,10	<0,0001	8893,55	<0,0001	55233,15	<0,0001
B-Nhiệt độ (°C)	1173,18	<0,0001	1011,70	<0,0001	48569,19	<0,0001
C-Tốc độ bơm nhập liệu (vòng/phút)	1343,18	<0,0001	1291,44	<0,0001	240,87	<0,0001
AB	28,39	0,0011	0,0000	1,0000	4011,63	<0,0001
AC	5,11	0,0583	50,44	0,0002	13169,83	<0,0001
BC	131,42	<0,0001	188,55	<0,0001	127,42	<0,0001
A ²	3,63	0,0985	621,88	<0,0001	367,61	<0,0001
B ²	0,3362	0,5802	100,80	<0,0001	30356,50	<0,0001
C ²	1777,48	<0,0001	48,48	0,0002	445,35	<0,0001
Lack of Fit	0,3396	0,7992	0,1302	0,9372	0,5208	0,6905
Hệ số xác định R ²	0,9985		0,9994		1,0000	
Hệ số điều chỉnh R ² _{Adj}	0,9967		0,9987		0,9999	
Hệ số dự báo R ² _{Pred}	0,9935		0,9984		0,9997	

3.1.1. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến hiệu suất thu hồi sản phẩm

Ảnh hưởng của các thông số sấy phun đến hiệu suất thu hồi sản phẩm bột chanh dây được trình bày trong bảng 2, trong khi biểu đồ bề mặt đáp ứng 3D được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Ảnh hưởng của các yếu tố thực nghiệm đến hiệu suất thu hồi sản phẩm.

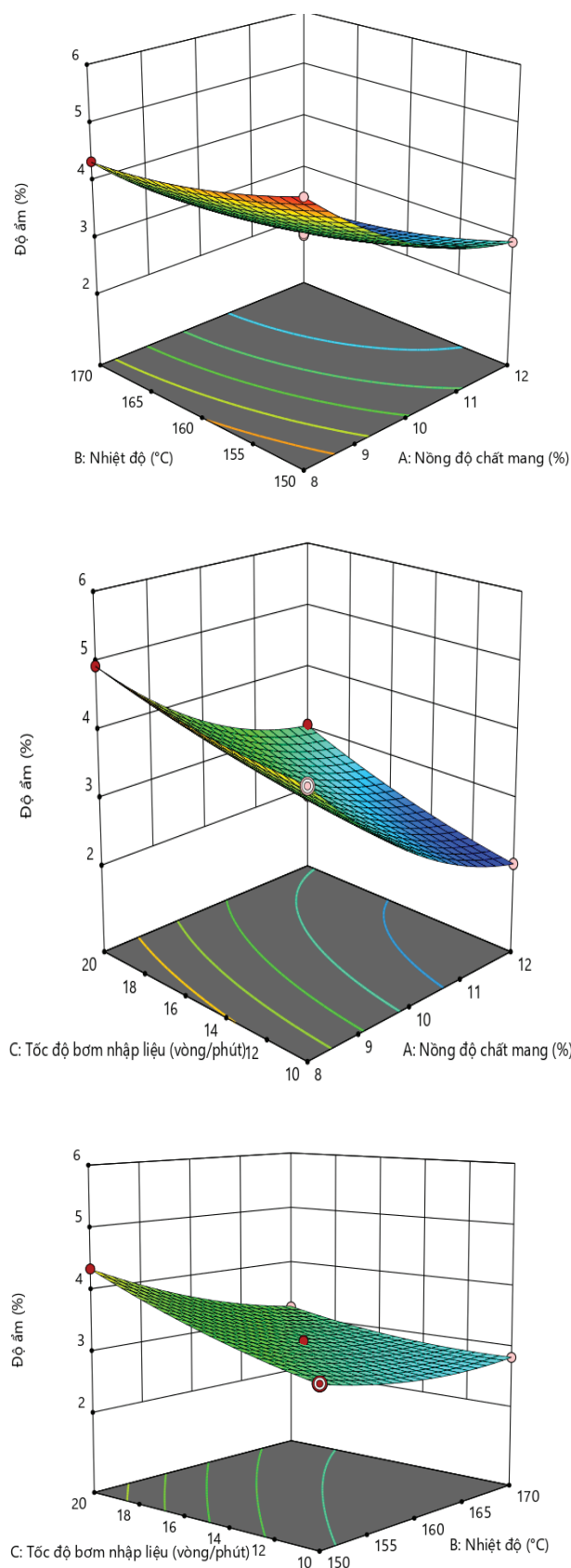
Kết quả phân tích ANOVA cho thấy, mô hình bậc hai có ý nghĩa thống kê cao ($p < 0,0001$), với hệ số xác định ($R^2 = 0,9985$) xác nhận sự phù hợp tốt giữa các giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán. Nồng độ chất mang, nhiệt độ không khí đầu vào và tốc độ bơm nhập liệu có ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi sản phẩm, trong đó nồng độ chất mang là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến hiệu suất thu hồi. Mô hình hồi quy bậc hai phù hợp mô tả ảnh hưởng của các biến độc lập đến hiệu suất thu hồi sản phẩm như sau:

$$Y_1(\%) = 431,075 - 13,0A - 3,2B + 3,005C + 0,0825AB - 0,70AC + 0,071BC + 0,14375A^2 + 0,00175B^2 - 0,509C^2 \quad (1)$$

Hiệu suất thu hồi sản phẩm dao động 46,3-81,4% với hiệu suất cao nhất (81,4%) đạt được ở nồng độ chất mang 12%, nhiệt độ không khí đầu vào 150°C và tốc độ bơm nhập liệu 15 vòng/phút. Nồng độ chất mang ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất thu hồi, cho thấy mối tương quan tích cực khi nồng độ chất mang tăng thì hiệu suất thu hồi cũng tăng. Các nghiên cứu tương tự đã được báo cáo đối với dịch chanh dây vàng và nước ép quả sơ ri, trong đó nồng độ chất mang cao giúp cải thiện hiệu quả sấy và giảm độ dính vào thiết bị [3, 13]. Ngược lại, việc tăng nhiệt độ đầu vào dẫn đến giảm hiệu suất thu hồi. Sự giảm này thường được thấy ở các loại nước ép trái cây nhiều đường, với nhiệt độ sấy cao gây ra hiện tượng caramel hóa và dính vào thành thiết bị làm giảm hiệu suất thu hồi bột [14]. Tốc độ bơm nhập liệu cho thấy mối tương quan nghịch với hiệu suất thu hồi sản phẩm, khi tăng tốc độ nhập liệu 15-20 vòng/phút làm giảm hiệu suất thu hồi. Các nghiên cứu trước đây cho thấy, khi tăng tốc độ bơm nhập liệu, lượng dịch đưa vào buồng sấy lớn sẽ tạo ra các giọt sương lớn hơn, làm giảm hiệu quả truyền nhiệt, dẫn đến sản phẩm sấy chưa kịp khô hoàn toàn, tăng hiện tượng bám vào thành thiết bị, làm giảm hiệu suất thu hồi sản phẩm [15, 16].

3.1.2. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến độ ẩm

Kết quả phân tích ANOVA cho thấy, mô hình bậc hai có ý nghĩa thống kê cao ($p < 0,0001$), với hệ số xác định cao ($R^2 = 0,9994$), xác nhận sự phù hợp tốt giữa các giá trị



Hình 2. Ảnh hưởng của các yếu tố thực nghiệm đến độ ẩm.

thực nghiệm và giá trị dự đoán. Mô hình hồi quy bậc hai phù hợp mô tả ảnh hưởng của các biến độc lập đến độ ẩm như sau:

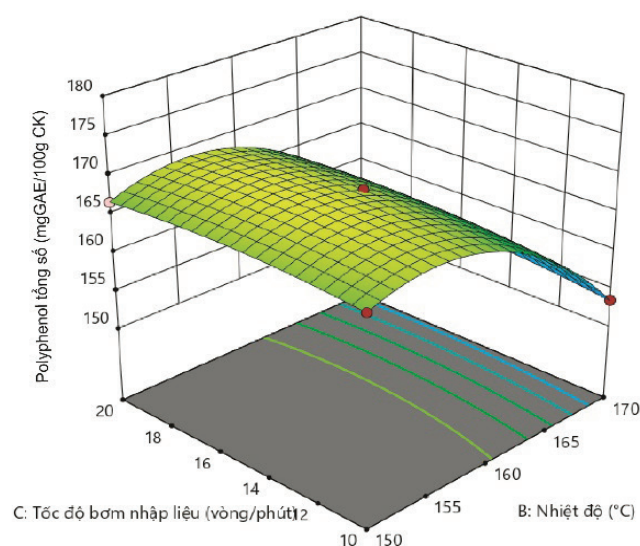
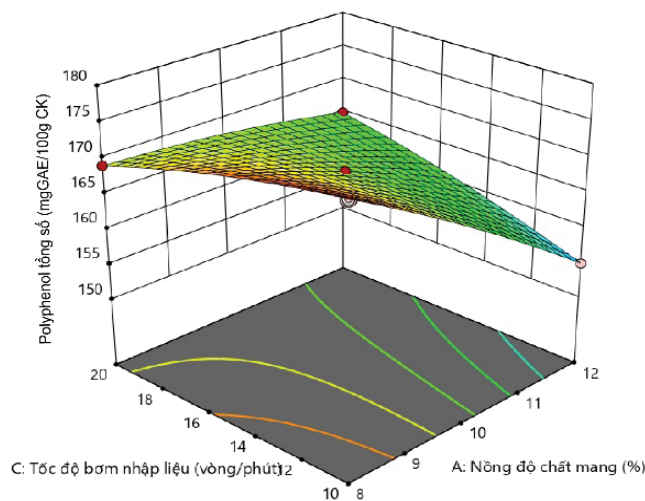
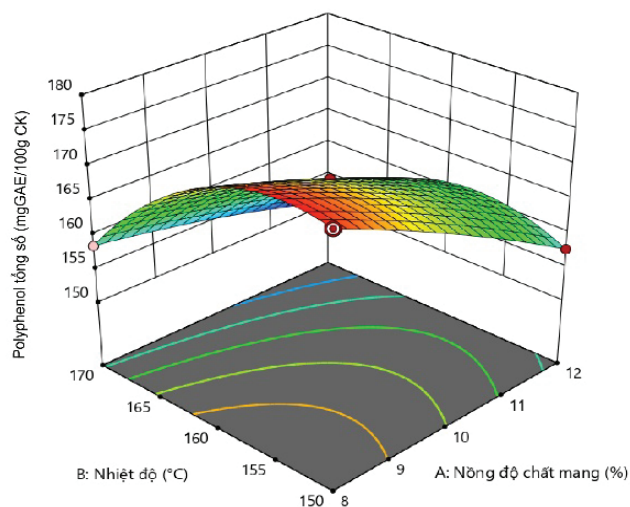
$$Y_2(\%) = 54,39375 - 2,62187A - 0,3562B + 0,535C + 0,01125AC - 0,00435BC + 0,09625A^2 + 0,00155B^2 + 0,0043C^2 \quad (2)$$

Độ ẩm sản phẩm dao động 2,02-5,05%, chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi các yếu tố công nghệ, trong đó nồng độ chất mang có ảnh hưởng lớn nhất đến độ ẩm bột chanh dây sấy phun. Biểu đồ đáp ứng bề mặt (hình 2) cho thấy, độ ẩm giảm khi tăng nồng độ chất mang và nhiệt độ không khí đầu vào nhưng lại tăng khi tốc độ bơm nhập liệu tăng. Trong sấy phun nước ép các loại trái cây, nồng độ chất mang cao giúp tăng hàm lượng chất khô ban đầu, từ đó giảm hàm lượng nước dẫn tới giảm độ dính bề mặt và tăng hiệu suất thu hồi [17]. Bên cạnh đó, tác nhân sấy là không khí nóng khô tiếp xúc với vật liệu, tạo động lực cho quá trình truyền nhiệt và truyền khối, làm nước trong nguyên liệu bay hơi từ pha lỏng sang pha hơi, từ đó thu được sản phẩm dạng bột khô. Do đó, nhiệt độ và tốc độ lưu chuyển không khí càng cao thì tốc độ bay hơi nước càng lớn, giúp giảm độ ẩm nhanh. Tuy nhiên, việc tăng nhiệt độ quá cao có thể gây ra hiện tượng caramel hóa làm giảm khả năng hòa tan. Tốc độ bơm nhập liệu tăng dẫn đến các giọt sương lớn, làm giảm hiệu quả truyền nhiệt dẫn đến sản phẩm có độ ẩm cao hơn [18, 19]. Vì vậy, việc kiểm soát độ ẩm trong khoảng tối ưu 2-5% là rất quan trọng để đảm bảo chất lượng và hiệu quả quá trình sấy phun [20, 21].

3.1.3. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến hàm lượng polyphenol tổng số

Kết quả ANOVA cho thấy mô hình bậc hai có ý nghĩa thống kê với hệ số xác định cao ($R^2=1$), xác nhận sự phù hợp tốt giữa các giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán. Mô hình hồi quy bậc hai phù hợp mô tả ảnh hưởng của các biến độc lập đến hàm lượng polyphenol tổng số như sau:

$$Y_3(\text{mg GAE}/100 \text{ gCK}) = -1167,5475 - 26,65A + 19,64525B - 4,9435C + 0,12625AB + 0,4575AC + 0,009BC - 0,18625A^2 - 0,0677B^2 - 0,0328C^2 \quad (3)$$



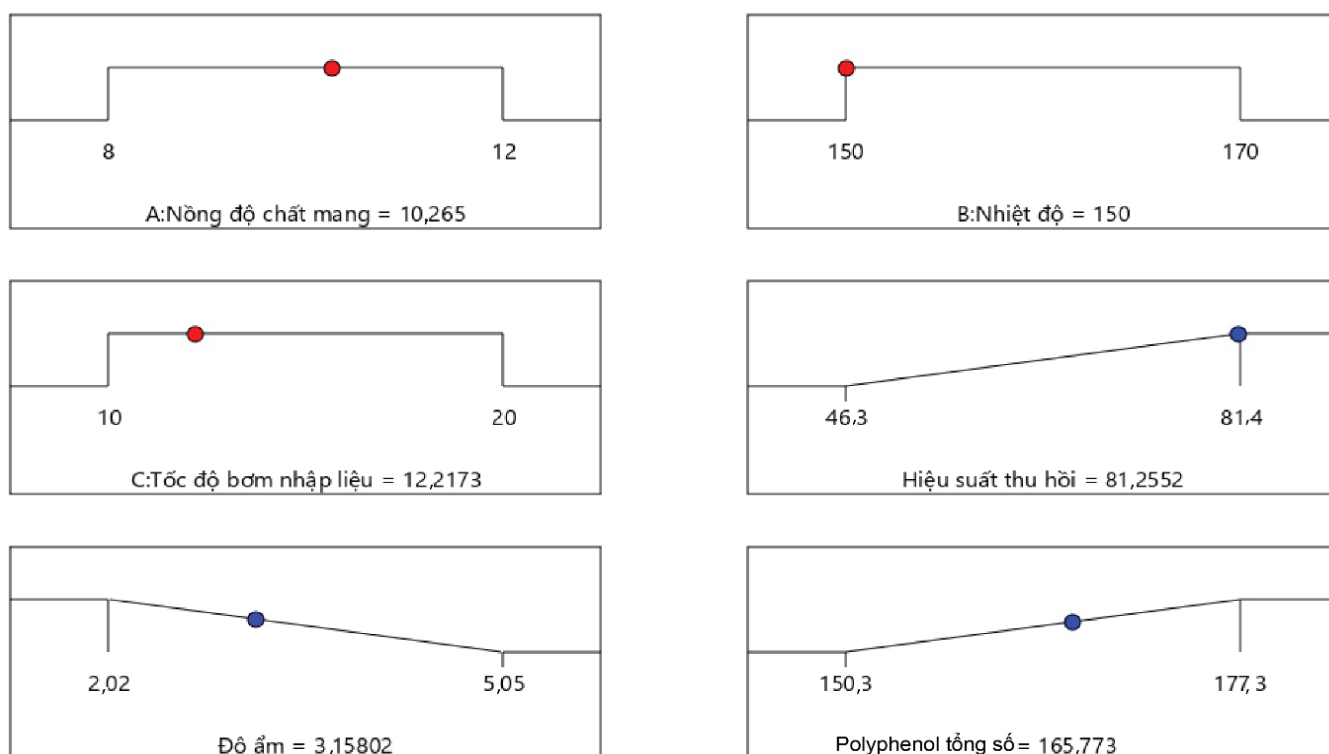
Hình 3. Ảnh hưởng của các yếu tố thực nghiệm đến polyphenol tổng số.

Polyphenol là hoạt chất dễ phân hủy bởi nhiệt và có liên quan chặt chẽ với hoạt tính chống oxy hóa của sản phẩm bột chanh dây. Do đó, chỉ tiêu hàm lượng polyphenol tổng số được lựa chọn để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố trong quá trình sấy phun tới chất lượng sản phẩm bột. Hàm lượng polyphenol tổng số của bột chanh dây sấy phun dao động 150,3-177,3 mg GAE/100 g CK và chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi các yếu tố công nghệ, trong đó nồng độ chất mang có ảnh hưởng lớn nhất đến hàm lượng polyphenol tổng số. Biểu đồ đáp ứng bề mặt (hình 3) cho thấy, hàm lượng polyphenol tổng số đạt tốt nhất khi ở nhiệt độ không khí đầu vào thấp do polyphenol là hợp chất dễ bị phân hủy khi nhiệt độ tăng. Xu hướng này phù hợp với nghiên cứu về sấy phun dịch quả cà chua của Q. Liu và cs (2022) [22]. Bên cạnh đó, tốc độ bơm nhập liệu cao giúp giảm tổn thất polyphenol do quá trình sấy nhanh làm rút ngắn thời gian tiếp xúc của nguyên liệu với nhiệt trong buồng sấy, từ đó hạn chế sự phân hủy các hợp chất. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu sản xuất tạo bột chanh dây vàng bằng phương pháp sấy phun của K.S. Fathima và cs (2025) [3].

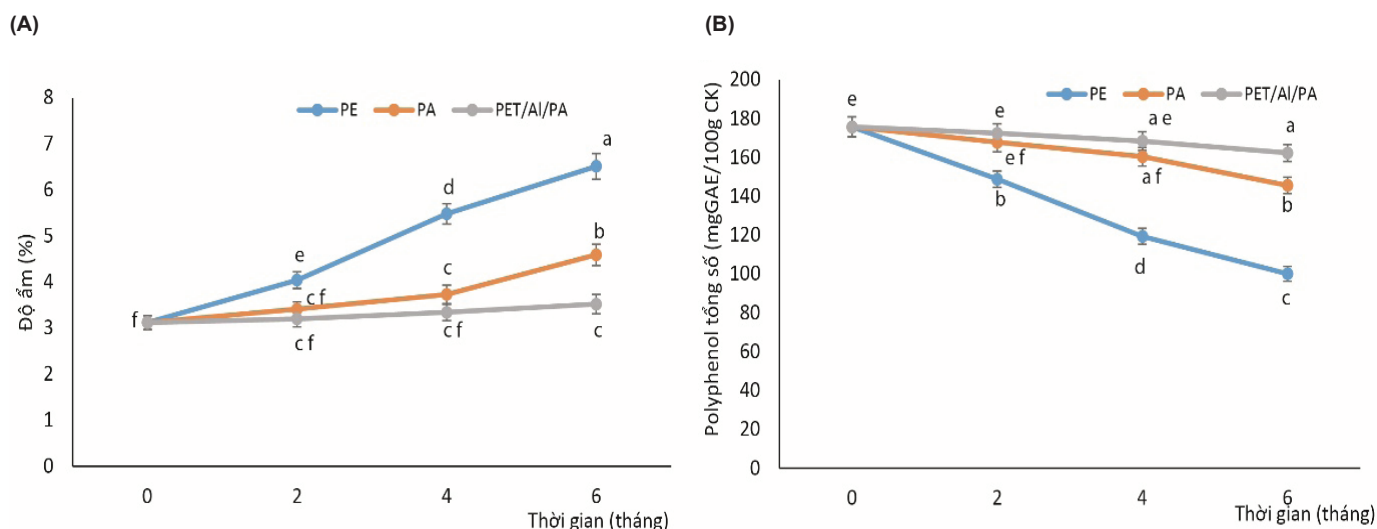
3.2. Tối ưu hóa điều kiện sấy phun dịch chanh dây

Phương pháp bề mặt đáp ứng là một quy hoạch thực nghiệm nhằm giảm thiểu số lượng thí nghiệm nhưng kết quả vẫn đảm bảo độ tin cậy nên được ứng dụng nhiều trong tối ưu các quá trình sấy phun bột chanh dây vàng, bột măng cầu [3, 23]. Các thông số tối ưu dự đoán từ phương pháp bề mặt đáp ứng đạt được tại các điều kiện sấy phun như sau: nồng độ chất mang 10,27%, nhiệt độ 150°C, tốc độ bơm nhập liệu 12,22 vòng/phút, cho hiệu suất thu hồi đạt 81,26%, độ ẩm 3,16% và hàm lượng polyphenol tổng số đạt 165,77 mg GAE/100 g CK. Các thông số tối ưu dự đoán trong sấy phun bột chanh dây được thể hiện tại hình 4.

Thực nghiệm được tiến hành nhằm kiểm chứng mức độ phù hợp của các giá trị dự đoán trong vùng điều kiện tối ưu xác định bằng phương pháp RSM. Quá trình thực nghiệm được lặp lại ba lần tại điều kiện nồng độ chất mang 10%, nhiệt độ 150°C và tốc độ bơm nhập liệu 12 vòng/phút. Kết quả thực nghiệm được lấy giá trị trung bình tương ứng với các hàm mục tiêu đạt được: Hiệu



Hình 4. Các thông số tối ưu dự đoán trong sấy phun bột chanh dây.



Hình 5. Ảnh hưởng của loại bao bì đến độ ẩm (A) và polyphenol tổng số (B). Các chữ cái khác nhau trên biểu đồ thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

suất thu hồi 80,8%, độ ẩm 3,11%, hàm lượng polyphenol tổng số đạt 166,5 mg GAE/100 g CK. Phân tích thống kê cho thấy sự khác biệt giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán từ mô hình không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$), chứng tỏ độ tin cậy và khả năng dự đoán tốt của mô hình.

So với một số nghiên cứu trước đây, kết quả nghiên cứu cho hiệu suất thu hồi sản phẩm cao hơn. Nghiên cứu của K.S. Fathima và cs (2025) [3] tối ưu dịch chiết chanh dây vàng ở nồng độ chất mang 20%, nhiệt độ không khí đầu vào 165°C và tốc độ bơm nhập liệu 12 vòng/phút chỉ đạt hiệu suất thu hồi 61,23% trong khi đó, nghiên cứu của P.T.V. Ha và cs (2022) [9] về sấy phun dịch chanh dây tím sử dụng chất mang maltodextrin 35%, nhiệt độ không khí đầu vào 195°C cho hiệu suất thu hồi đạt 51,5%. Những kết quả này khẳng định tính chính xác và khả năng ứng dụng của mô hình trong dự đoán và tối ưu các đặc tính của bột chanh dây sấy phun.

3.3. Ảnh hưởng bao bì bảo quản đến độ ẩm và hàm lượng polyphenol của bột chanh dây sấy phun

Với đặc tính hút ẩm cao, sản phẩm bột sấy phun có xu hướng hấp thụ độ ẩm từ môi trường và thay đổi chất lượng [24]. Do đó, cần phải có loại bao bì thích hợp để giảm mức độ ảnh hưởng của môi trường đến chất lượng của sản phẩm bột sấy phun. Nghiên cứu này đánh giá

ảnh hưởng của một số loại bao bì đến độ ẩm và hàm lượng polyphenol tổng số trong bột chanh dây sấy phun. Kết quả nghiên cứu được thể hiện tại hình 5.

Kết quả hình 5 cho thấy, độ ẩm bột chanh dây sấy phun có xu hướng tăng dần sau thời gian bảo quản, tuy nhiên xu hướng này có sự khác nhau đáng kể giữa các loại bao bì. Sau 6 tháng, sản phẩm bột chanh dây sấy phun bảo quản trong bao bì PE đạt độ ẩm cao nhất (6,51%), tiếp theo là bao bì PA (4,59%) và cuối cùng là bao bì PET/Al/PA (3,52%). Sự khác biệt này được giải thích là do bao bì ghép nhiều lớp có khả năng cản ẩm giúp giảm tốc độ truyền hơi nước, tránh cho hơi ẩm từ môi trường hấp thụ vào sản phẩm [25]. Hàm lượng polyphenol tổng số có xu hướng giảm dần sau 6 tháng bảo quản. Sau 6 tháng bảo quản, hàm lượng polyphenol tổng số trong bột chanh dây bảo quản với bao bì PE đạt thấp nhất (100,1 mg GAE/100 g CK) và đạt cao nhất với bao bì PET/Al/PA (162,3 mg GAE/100 g CK). Hàm lượng polyphenol tổng số giảm theo thời gian bảo quản do các yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm tạo ra các phản ứng hóa học không mong muốn, dẫn đến giảm các hợp chất tự nhiên trong quá trình bảo quản [26]. Từ các kết quả nghiên cứu trên cho thấy, bao bì PET/Al/PA cho hiệu quả bảo quản tốt nhất sau 6 tháng ở điều kiện nhiệt độ phòng.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tối ưu được quá trình sấy phun dịch chanh dây bằng phương pháp RSM. Kết quả cho thấy, với nồng độ chất mang 10%, nhiệt độ không khí đầu vào 150°C và tốc độ bơm nhập liệu 12 vòng/phút, bột chanh dây sấy phun có hiệu suất thu hồi 80,8%, độ ẩm 3,11% và hàm lượng polyphenol tổng số đạt 166,5 mg GAE/100 g CK. Bột chanh dây được bảo quản bằng túi ghép màng nhôm 3 lớp (PET/Al/PA) ở điều kiện nhiệt độ phòng, giúp duy trì độ ẩm, hàm lượng polyphenol tổng số ở mức tốt sau 6 tháng bảo quản. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở khoa học quan trọng cho việc sản xuất sản phẩm bột từ dịch chanh dây bằng phương pháp sấy phun. Tuy nhiên, nghiên cứu này bước đầu tập trung đánh giá chỉ tiêu chất lượng bột sấy phun thông qua tổng hàm lượng polyphenol và độ ẩm. Để hoàn thiện quy trình công nghệ cần có thêm đánh giá một số chỉ tiêu chất lượng khác như vitamin C, carotenoid, độ hòa tan.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài cấp quốc gia: “Nghiên cứu ứng dụng các giải pháp khoa học và công nghệ trong bảo quản và chế biến quả chanh dây tại tỉnh Đắk Nông và khu vực Tây Nguyên”, mã số ĐTĐL.CN-02/24 của Viện Đổi mới Sáng tạo Quốc gia. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Thokchom, G. Mandal (2017), “Production preference and importance of passion fruit (*Passiflora edulis*): A review”, *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, **4(1)**, pp.27-30.
- [2] J.P.C. Diniz, C. S. Sousa, E.F. de Mesquita, et al. (2025), “Physiology and yield of yellow passion fruit under organic and silicon fertilisation in a semiarid environment”, *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **55**, DOI: 10.1590/1983-40632025v55581389.
- [3] K.S. Fathima, P.F. Rinshana, G.K. Rajesh, et al. (2025), “Optimization of spray drying parameters for passion fruit juice powder: Physicochemical and quality evaluation”, *Archives of Current Research International*, **25(9)**, pp.482-497, DOI: 10.9734/acri/2025/v25i91513.
- [4] B.R. Bhandari, N. Datta, T. Howes (1997), “Problems associated with spray drying of sugar-rich foods”, *Drying Technology*, **15(2)**, pp.671-684, DOI: 10.1080/07373939708917253.
- [5] S. S. Monteiro, Y. A. S. Beserra, H. M. L. Oliveira, et al. (2020), “Production of probiotic passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) drink using *Lactobacillus reuteri* and microencapsulation via spray drying”, *Foods*, **9(3)**, DOI: 10.3390/foods9030335.
- [6] M.D. Azhar, S. A. Hashib, U.K. Ibrahim, et al. (2021), “Development of carrier material for food applications in spray drying technology: An overview”, *Materials Today: Proceedings*, **47**, pp.1371-1375, DOI: 10.1016/j.matpr.2021.04.140.
- [7] T.C. Kha, M.H. Nguyen, P.D. Roach, et al. (2014), “Microencapsulation of gac oil by spray drying: Optimization of wall material concentration and oil load using response surface methodology”, *Drying Technology*, **32(4)**, pp.385-397, DOI: 10.1080/07373937.2013.829854.
- [8] P. Mishra, S. Mishra, C.L. Mahanta (2014), “Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder”, *Food and Bioproducts Processing*, **92(3)**, pp.252-258, DOI: 10.1016/j.fbp.2013.08.003.
- [9] P.T.V. Ha, L.V. Thuan, N.T.H. Tinh (2022), “Development of a technical process for the production of passion fruit powder (*Passiflora edulis*)”, *DTU Journal of Science and Technology*, **1(50)**, pp.71-79 (in Vietnamese).
- [10] Ansar, Nazaruddin, A.D. Azis (2019), “Effect of vacuum freeze-drying condition and maltodextrin on the physical and sensory characteristics of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) extract”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **355(1)**, IOP Publishing, DOI: 10.1088/1755-1315/355/1/012067.
- [11] Y. Gong, Z. Hou, Y. Gao, et al. (2012), “Optimization of extraction parameters of bioactive components from defatted marigold (*Tagetes erecta* L.) residue using response surface methodology”, *Food and Bioproducts Processing*, **90(1)**, pp.9-16, DOI: 10.1016/j.fbp.2010.12.004.
- [12] D. Santos, A.C. Maurício, V. Sencadas, et al. (2018), “Spray drying: An overview”, *Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition*, **2**, pp.9-35, DOI: 10.5772/intechopen.72247.
- [13] Y.T. Dang, H. Tran, T.C. Kha (2024), “Encapsulation of W/O/W acerola emulsion by spray drying: Optimization, release kinetics, and storage stability”, *Foods*, **13(10)**, DOI: 10.3390/foods13101463.

- [14] K. Samborska, K. Sarabandi, R. Tonon, et al. (2023), "Recent progress in the stickiness reduction of sugar-rich foods during spray drying", *Drying Technology*, **41(16)**, pp.2566-2585, DOI: 10.1080/07373937.2023.2229916.
- [15] K.O. Iwuozor, A.G. Adeniyi, E.C. Emenike, et al. (2023), "Sugarcane juice powder produced from spray drying technology: A review of properties and operating parameters", *Sugar Tech*, **25(3)**, pp.497-507, DOI: 10.1007/s12355-022-01211-6.
- [16] P. Sundararajan, J. Moser, L. Williams, et al. (2023), "Driving spray drying towards better yield: Tackling a problem that sticks around", *Pharmaceutics*, **15(8)**, DOI: 10.3390/pharmaceutics15082137.
- [17] R. Pujapanda, Hamid, O. Bashir, et al. (2025), "Influence of carrier agents on nutritional, chemical, and antioxidant profiles of fruit juices during drying processes: A comprehensive review", *Discover Food*, **5(1)**, DOI: 10.1007/s44187-025-00504-5.
- [18] I. Tontul, A. Topuz (2017), "Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties", *Trends in Food Science & Technology*, **63**, pp.91-102, DOI: 10.1016/j.tifs.2017.03.009.
- [19] S. George, A. Thomas, M.V.P. Kumar, et al. (2023), "Impact of processing parameters on the quality attributes of spray-dried powders: A review", *European Food Research and Technology*, **249(2)**, pp.241-257, DOI: 10.1007/s00217-022-04170-0.
- [20] T. Qadri, H.R. Naik, S.Z. Hussain, et al. (2023), "Impact of spray drying conditions on the reconstitution, efficiency and flow properties of spray dried apple powder-optimization, sensorial and rheological assessment", *Heliyon*, **9(8)**, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e18527.
- [21] D.W.R.G. Gomez (2026), "Trends in spray drying technology: Factors, machine learning, and patent insights on powder wall sticking", *Drying Technology*, **44(1)**, pp.98-115, DOI: 10.1080/07373937.2025.2605562.
- [22] Q. Liu, N. Hamid, Y. Liu, et al. (2022), "Bioactive components and anticancer activities of spray-dried New Zealand tamarillo powder", *Molecules*, **27(9)**, DOI: 10.3390/molecules27092687.
- [23] L.S. Chang, R. Karim, S.M. Abdulkarim, et al. (2018), "Production and characterization of enzyme-treated spray-dried soursop (*Annona muricata* L.) powder", *Journal of Food Process Engineering*, **41(5)**, DOI: 10.1111/jfpe.12688.
- [24] L.P. Pui, L.A.K. Saleena, H.M. Ghazali (2024), "Storage stability and anti-caking agents in spray-dried fruit powders: A review", *Foods and Raw Materials*, **12(2)**, pp.229-239, DOI: 10.21603/2308-4057-2024-2-603.
- [25] S. Xu, K.H. Cheng, A. Erwin, et al. (2025), "Polyhydroxybutyrate laminated trilayer films with enhanced barrier and mechanical properties for active food packaging", *Scientific Reports*, **15(1)**, DOI: 10.1038/s41598-025-20239-8.
- [26] N.M. Trung, B.T.B. Huyen, N.Q. Vinh (2023), "Thermodynamic and kinetics research of phenolics degradation and bioactivities of *Syzygium zeylanicum* L. DC. spray-dried microcapsules under accelerated storage conditions", *CTU Journal of Science*, **59(5)**, pp.123-130, DOI: 10.22144/ctujos.2023.197.